deposits of the southern regions of the Siberian Platform (Nepa-Botuoba Anteclise and adjacent areas)]. Collected papers. Vesti gazovoy nauki – Bulletin of Gas Science, 2016, no. 1 (25). Available at: http://www.vesti-gas.ru/sites/default/ files/attachments/vgn-1-25-2016-040-062.pdf (accessed August 1, 2019). (In Russian).

5. Vozhov V.I. Gidrogeologicheskie usloviya mestorozhdeniy nefti i gaza Sibirskoy platformy [Hydrogeological conditions of oil and gas fields of the Siberian platform]. Moscow, Nedra, 1987. 204 p. (In Russian).

УДК 551.251

DOI: 10.24411/1728-5283-2020-10103

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ САМАРСКОЙ ТОЛЩИ (восточно-уральское поднятие)\*

#### © В.И. Сначев,

доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт геологии, Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: SAVant@inbox.ru В статье приводится описание геологического строения самарской толщи, развитой в северном и западном обрамлении Челябинского гранитного массива (Восточно-Уральское поднятие) и узкой полосой протягивающейся в меридиональном направлении до широты Варламовского купола. В состав толщи входят филлиты, филлитовидные сланцы, метапесчаники, кварцитопесчаники, кварциты и метабазальты. Основные эффузивы отмечены только в нижней ее части. Контакты с нижележащими образованиями тектонические, а с вышележащими – несогласные. Нижнерифейский возраст толщи принят в соответствии с Южно-Уральской серийной легендой, надежных радиологических данных до настоящего времени по ней не получено.

На основе изучения гранат-биотитового парагенезиса, всесторонне исследованного экспериментально и широко представленного в породах самарской толщи в южной части рассматриваемой территории, получены температура и давление метаморфизма (T = 450–470°C, P = 2.0–2.7 кбар), что соответствует условиям эпидот-амфиболитовой фации и абиссальной зоне глубинности (7–9 км).

Рассмотрение петрохимических особенностей метабазальтов позволило реконструировать палеогеодинамические условия их образования. Это умеренномагнезиальные, высокотитанистые, низкокалиевые породы, которые относятся к толеитовой и реже субщелочной сериям. На диаграммах идентификации палеообстановок TiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO) и TiO<sub>2</sub> – (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) высокотитанистые их разновидности отвечают базальтам эпиплатформенных континентальных рифтов, а низкотитанистые – срединно-океанических хребтов. По распределению РЗЭ метабазальты толщи идентичны основным эффузивам бичурской свиты и сопоставимы с траппами Челябинского грабена.

Можно предположить, что самарская толща сформировалась в раннерифейское время в обстановке эпиплатформенного континентального рифтогенеза. В дальнейшем ее отложения испытали региональный метаморфизм в условиях зеле-

<sup>\*</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания, тема №0246-2019-0078

<sup>.....</sup> ВЕСТНИК АКАДЕМИИ НАУК РБ

носланцевой фации, а в южной части – локальный зональный контактовый метаморфизм. Последний этап связан со становлением в позднерифейско-вендское время близрасположенного крупного Варламовского гранитно-мигматитового купола.

Ключевые слова: самарская толща, Восточно-Уральское поднятие, метаморфизм, метабазальты, температура, давление, геодинамика

## © V.I. Snachev PHYSICOCHEMICAL CONDITIONS OF METAMORPHISM AND GEODYNAMIC CONDITIONS FOR THE FORMATION OF THE SAMARA STRATA (EAST-URAL UPLIFT)

Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, 16/2, ulitsa Karla Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation, e-mail: SAVant@inbox.ru The article describes the geological structure of the Samara Strata developed in the northern and western framings of the Chelyabinsk granite massif (East-Ural Uplift) and stretching out in a narrow strip along the meridional direction to the latitude of the Varlamovsky dome. The strata consist of phyllites, phyllite schists, metasandstones, quartzites and metabasalts. Basic effusives are found only in its lower part. Contacts with the underlying units are tectonic, and those with the overlying units are unconformable. The Lower Riphean age of the strata is accepted in accordance with the South Ural series legend; any reliable radiological data have not yet obtained.

Based on the study of garnet-biotite paragenesis comprehensively investigated through experiments and widely represented in the rocks of the Samara Strata in the southern part of the area under consideration, metamorphic temperatures and pressures (T = 450–470°C, f = 2.0–2.7 kbar) are determined, which corresponds to the conditions of epidote-amphibolite facies and abyssal zone depth (7–9 km).

Consideration of petrochemical features of metabasalts allowed reconstructing paleogeodynamic conditions of their formation. These are moderate magnesian, high titanium and low potassium rocks that belong to the tholeiitic and less often subalkaline series. In the identification diagrams of the paleo-environments  $TiO_2 - Al_2O_3 / (FeO + Fe_2O_3 + MgO)$  and  $TiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ , their high-titanium varieties correspond to basalts of epiplatform continental rifts, and low-titanium varieties correspond to mid-ocean ridges. According to the REE distribution, the metabasalts of the sequence are identical to basic effusives of the Bichur Formation and are comparable with trapps of the Chelyabinsk Graben.

It can be assumed that the Samara Strata was formed in the Early Riphean time in the setting of epiplatform continental riftogenesis. Later, its deposits underwent regional metamorphism under the conditions of the greenschist facies and local zonal contact metamorphism in the southern part. The latter stage is associated with the formation of the nearby large Varlamovsky granite-migmatite dome.

Key words: Samara Strata, East-Ural Uplift, metamorphism, metabasalts, temperature, pressure, geodynamics Самарская толща (RF<sub>1</sub>?sm) выделена H.C. Кузнецовым (ОАО «Челябинскгеосъемка») в 1995 году при проведении ГДП-50. Она распространена в пределах Восточно-Уральского поднятия, в северном и западном обрамлении Челябинского плутона (лис-



Рис. 1. Схема геологического строения северной части Восточно-Уральской мегазоны (составлена на основе геологической карты М: 1:1000 000, авторы Б.А. Пужаков и др., издана в 2013 году) Условные обозначения: 1 – бичурская свита (базальты, трахибазальты); 2 – дербишевская толща (ксенотуфы, туфы базальтов, андезибазальтов); 3 - федоровская и ухановская толщи объединенные (известняки, углеродистые известняки, песчаники); 4 - соболевская и баязитовская толщи объединенные (полимиктовые песчаники, конгломераты, гравелиты, алевролиты); 5 - тугундинская и биргильдинская толщи объединенные (полимиктовые песчаники, конгломераты, гравелиты); 6 – березиновская толща и брединская свита объединенные (ксенотуфы, туфы базальтов, андезибазальтов); 7 – березняковская толща (ксенотуфы, туфы андезитов, андезидацитов, дацитов); 8 - еманжелинская толща (песчаники, алевролиты, аргиллиты); 9 – касаргинская толща (базальты, дациты, риолиты; ты М 1:200 000: N-41-I, Кыштым; N-41-II, Кунашак; N-41-VII, Миасс и N-41-VIII, Челябинск) (рис. 1). По данным геолого-съемочных работ, участником которых был и автор данной статьи, толща сложена филлитами и филлитовидными сланцами, метапесчаниками, кварцитопесчаниками, кварцитами и метабазальтами с редкими прослоями углеродистых сланцев. Филлиты, филлитовые сланцы, полимиктовые метапесчаники и мелкие тела метабазальтов залегают в нижней части толщи, среднюю маркирующую пачку слагают светлые кварцевые песчаники, верхнюю переслаивающиеся бластоалевритовые И бластопсаммитовые сланцы. Породы обнажены в долине р. Зюзелги и вскрыты скважинами. Контакты с нижележащими образованиями тектонические, а с вышележащими несогласные. Наиболее представительный разрез толщи детально изучен западнее листа N-41-VIII по скважинам. Мощность самарской толщи составляет более 1500 м.

Филлиты и филлитовидные сланцы состоят из хлорита и серицита (25–50%) и тонкого глинисто-полевошпатового материала (25–65%). Тонкая полосчатость пород обусловлена линзовидными слойками гематита и хлорита мощностью от долей миллиметра до 1–2 мм. Акцессорные минералы – турмалин, ставролит, циркон, сфен, апатит; рудные – лейкоксен и магнетит. Метапесчаники имеют массивные и сланцеватые текстуры и

туфы базальтов, дацитов); 10 – саргазинская толща (базальты, андезибазальты, риолиты); 11 – самарская толща (филлиты, филлитовидные сланцы, метапесчаники, кварциты и метабазальты с редкими прослоями углеродистых сланцев); 12 - еремкинская толща (гранат-биотитовые плагиогнейсы, амфиболиты, кварциты); 13 – харлушинская толща (гнейсы, плагиогнейсы биотитовые, амфиболиты); 14 – султаевский комплекс (граниты, реже граносиениты, гранодиориты); 15 -Челябинский многофазный массив: марииновский комплекс (диориты, плагиогранит) - кременкульский комплекс (граниты, лейкограниты); 16 – пластовский комплекс (тоналиты, плагиограниты ); 17 – чебаркульско-казбаевский комплекс (габбро, дуниты, гарцбургиты); 18 – варламовский комплекс (гранито-гнейсы, мигматиты); 19 – гранитоидные массивы; 20 – гипербазиты; 21 - номера массивов: 1 - Челябинский, 2 -Варламовский; 22 - структурно-формационные зоны: І - Арамильско-Сухтелинская, II - Восточно-Уральская, III - Челябинский грабен, IV – Зауральская; 23 – точка отбора пробы

24

мелко- и тонкозернистые структуры. Зерна, представленные кварцем (25-35%), плагиоклазом (30-45%) и кремнистыми породами, слабо окатаны и плохо сортированы. В небольшом количестве присутствуют эпидот, карбонат и серицит. Среди акцессорных минералов отмечены циркон и турмалин, из рудных – лейкоксен, магнетит и пирит. Цемент метапесчаников регенерационный, иногда глинисто-кремнистый базально-порового типа. Объем цементирующей массы 10-40%. Метабазальты в основном афировые, реже микропорфировые. Текстуры пород массивные, флюидальные, сланцеватые; структуры – субофитовые, интерсертальные, реже микропорфировые. Плагиоклаз (30-50%) (олигоклаз и андезин) присутствует в виде узких лейст и таблитчатых микропорфировых выделений. Темноцветные представлены зеленой и бурозеленой роговой обманкой (10-35%), тонкозернистым эпидотом (15-30%). В породах диагностированы рутил, магнетит, ильменит и хромит.

Метабазальты – умеренномагнезиальные, высокотитанистые и низкокалиевые. В них выше кларков основных пород отмечены следующие элементы: Cu, Zn, As, Be и близкие к ним – Ni, Mo, Ga. В метапесчаниках выше и близкие к кларкам осадочных пород содержания Ni, Cu, Zn, As, Mo, а в филлитах кроме того - Cr, Mn и Sn. Метабазальты по петрохимическим параметрам сопоставимы с базальтами континентальных рифтов, траппами Сибири и Декана. Они относятся к низко- и умереннокалиевым базальтам, ферробазальтам натриевой петрохимической и толеитовой генетической серий. На диаграммах идентификации палеообстановок метабазальты толщи отвечают внутриплитным континентальным базальтам и, заметно реже, базальтам срединно-океанических хребтов. По распределению РЗЭ относительно хондрита базальты толщи идентичны траппам бичурской свиты (с более низким содержанием РЗЭ) и сопоставимы с траппами Челябинского грабена.

По данным геологов-съемщиков образования самарской толщи изменены на уровне эпидот-амфиболитовой фации регионального, а возможно альбит-эпидот-роговиковой фации контактового метаморфизма, о чем свидетельствует минеральный состав базальтоидов. В результате диафтореза в отдельных участках образованы минеральные парагенезисы, соответствующие эпидот-хлоритовой и актинолит-эпидот-хлоритовой субфациям зеленосланцевой фации.

Ранее А.А. Краснобаевым юго-западнее площади работ (лист N-41-VII) по цирконам уран-свинцовым методом было получено три абсолютных датировки метапесчаников: 2069+63, 1485 и 531+43 млн лет (данные заимствованы из отчета Н.С. Кузнецова и других по Полетаевской площади, написанного в 1995 году). Последний возраст – время метаморфизма толщи. Значение 2069 млн лет интерпретируется как возраст протолита, а 1485 млн лет отвечает времени образования метаморфических пород. В 2010 году в отчете Г.В. Кальсина и других по Кунашакской площади приведена датировка пробы из долеритов (базальтов) смолинского комплекса, прорывающих образования самарской толщи. По «захваченным» цирконам U-Pb методом (SHRIMP-II) было получено значение возраста протолита 1795+13 млн лет. На основании совокупности имеющихся данных самарская толща датирована ранним рифеем. Ранее Н.Ф. Мамаев относил ее к ордовику и сопоставлял с маячной свитой, а В.К. Костарев и А.И. Батанин называли «подсерпентинитовой» толщей и включали в состав рымникской свиты (V-O?).

Основной задачей настоящей статьи является реконструкция физико-химических условий метаморфизма пород самарской толщи на основе изучения биотит-гранатового парагенезиса, установленного в метабазальтах северо-западного обрамления Варламовского массива (южнее широты д. Казбаево), а также периферии Челябинского массива. Составы минералов, отобранные из пород толщи (табл. 1), проанализированы И.А. Блиновым (ИМин УрО РАН, г. Миасс) на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 3sbu с энерго-дисперсионным спектрометром Охford Instruments X-асt (ускоряющее напряжение 20 кВ, эталоны для биотита — биотит, для граната — пироп, андрадит и гроссуляр). Их формулы рассчитывались по известной методике И.Д. Борнеман-Старынкевич [1], а затем с помощью диаграммы фазового соответствия магнезиальностей парагенезиса биотит-гранат [2, 3] получены температуры и оценена глубина формирования пород. Следует отметить, что составы трех пар биотитов и гранатов (альмандин-спессартинового ряда) почти ничем не отличаются друг от друга.

Обратимся к рис. 2, на котором в координатах XMg = Mg / (Mg+Fe+Mn) (значения мольных долей компонентов в биотите и гранате) вынесены точки составов для трех пар указанных метаморфических минералов. Как видим, все ассоциации образуют единое поле. Температуры их образования составля-

Минерал	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма	$X_{Mg}^{ Bi,Gr}$	
Bi-1	38,52	1,82	18,86	17,52	0	0	12,17	0,28	9,07	98,26	0,55	
Bi-2	38,64	1,84	18,86	16,91	0,30	0	12,74	0,25	8,95	98,49	) 0,57	
Bi-3	38,61	1,52	18,63	17,15	0	0	12,46	0,33	9,25	97,96	0,56	
Gr-1	37,26	0	20,88	19,71	16,55	4,30	1,51	0	0	100,21	0,07	
Gr-2	37,29	0	21,21	19,48	17,11	3,73	1,65	0	0	100,46	0,07	
Gr-3	37,02	0	21,27	18,81	16,92	3,74	1,75	0	0	99,52	0,08	
$\begin{split} & Bi\text{-}1 - (K_{0,85}Na_{0,04})_{0,89}(Mg_{1,34}Fe_{1,08}Mn_{0,00}Ti_{0,10}Al_{0,48})_3(Si_{2,84}Al_{1,16})_4O_{10}[O_{0,41}(OH)_{1,59}]_2 \\ & Bi\text{-}2 - (K_{0,84}Na_{0,04})_{0,88}(Mg_{1,39}Fe_{1,03}Mn_{0,02}Ti_{0,10}Al_{0,46})_3(Si_{2,83}Al_{1,17})_4O_{10}[O_{0,37}(OH)_{1,63}]_2 \\ & Bi\text{-}3 - (K_{0,87}Na_{0,05})_{0,92}(Mg_{1,37}Fe_{1,06}Mn_{0,00}Ti_{0,08}Al_{0,48})_3(Si_{2,86}Al_{1,14})_4O_{10}[O_{0,40}(OH)_{1,60}]_2 \\ & Gr\text{-}1 - (Ca_{0,37}Fe_{1,33}Mg_{0,18}Mn_{1,13})_{3,01}Al_{1,99}Si_3O_{12} \end{split}$												
$Gr-2 - (Ca_{0,32}Fe_{1,31}Mg_{0,20}Mn_{1,17})_3Al_{2,00}Si_3O_{12}$ $Gr-3 - (Ca_{0,32}Fe_{1,31}Mg_{0,20}Mn_{1,17})_3Al_{2,00}Si_3O_{12}$												

Таблица 1 – Состав биотита (Bi) и граната (Gr) пород самарской толщи (мас. %)

Примечание – Ві-1 – (номер пробы 9063, номер анализа 18473а); Ві-2 – (9063, 18473b); Ві-3 – (9063, 18473c); Gr-1 – (9063, 18473e); Gr-2 – (9063, 18473f); Gr-3 – (9063, 18473g)



Рис. 2. Диаграмма фазового соответствия XGrMg – XBiMg в породах самарской толщи [2]. 500–800 – изограды температур образования гранат-биотитовой ассоциации, °С

Примечание – кружочки – биотит-гранатовые пары (см. табл. 1)

ют 450–470°С. Вместе с тем расчет давления по известной температуре и коэффициенту lnK, где K= XMgGr / XMgBi [3] показал его значения в 2.0-2.7 кбара (рис. 3), что соответствует глубине 7-9 км (абиссальная зона). Если вынести указанные данные на схему фаций регионального метаморфизма (рис. 4), то приходим к выводу, что породы самарской толщи в позднерифейско-вендское время [4] в период становления Варламовского гранитно-гнейсового массива испытали метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Учитывая тот факт, что среди рассматриваемых отложений отмечены редкие прослои углеродистых сланцев, можно предположить наличие в них золоторудной минерализации [5-7]. Примечательно, что согласно рис. 4, на котором показаны поля устойчивости кианита, андалузита, силлиманита, а также ставролита, в минеральной

26

ассоциации с биотитом и гранатом отмечен Р,кб андалузит (верхний предел по давлению – 5 кбар). Согласно В.В. Федькину [8], в породах с избытком K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, к числу которых относятся образования самарской толщи, поле устойчивости ставролита ограничено температурами 475–625°С и давлением 2–10 кбар. Для рассматриваемых нами пород ставролит является вполне устойчивым метаморфическим минералом.

Другой задачей данной статьи является установление геодинамических условий формирования пород самарской толщи, реконструкция которых наиболее достоверно осуществляется на основе петрохимических особенностей метабазальтов, приведенных в таблице 2. Как это следует из рис. 5, рассматриваемые породы представлены исключительно толеитовыми или субщелочными разновидностями. Ни одна проба не попала в



Рис. 3. Диаграмма Р-Т для определения давления по Т и InK в породах самарской толщи (точки 1–3, см. табл. 1) [3]

Примечание – поля минералов: And – андалузит, Ку – кианит, Sill – силлиманит, Bi – биотит, Gr – гранат, Cord – кордиерит, KFsp – калиевый полевой шпат, Qu – кварц, Hy – гиперстен



Рис. 4. Положение гранат-биотитовых пар (см. табл. 1) пород самарской толщи на петрогенетической диаграмме [3]

Примечание – сплошные линии – границы фаций, заштрихованное поле – поле устойчивости ставролита, точками показана тройная диаграмма And-Sill-Ky. Римскими цифрами обозначены фации: І – цеолитовая или пумпеллиит-пренитовая, II – пумпеллиит-актинолитовая, IIIа – глаукофан-лавсонитовая, IIIб – глаукофан-цоизитовая, IV – цоизит-кианит-кварцевых сланцев, V – зеленых сланцев, VI – эпидотовых амфиболитов, VII – альмандиновых амфиболитов, VIII – куммингтонитовых амфиболитов, IX – гранулитовая

известково-щелочное поле. Кроме того, хорошо видно, что все субщелочные метабазальты находятся близ границы раздела полей.

Составы основных эффузивов самарской толщи на диаграммах al' - TiO2, где al' – Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/(FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+MgO), и TiO<sub>2</sub> – (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) [9] располагаются следующим образом: относительно высокотитанистые породы приурочены к области эпиплатформенных континентальных рифтов, а низкотитанистые - к участку ее пересечения с полем срединно-океанических хребтов. Для более точной реконструкции геодинамических условий образования метабазальтов обратимся к редкоземельным элементам. Средние их значения для выборки из 20 проб, проананейтронно-активационным лизированных методом в ГЕОХИ (аналитик Д.Ю. Сапожников), составили (в г/т): La – 28,6; Ce – 47,8; Sm – 5,7; Eu – 2,15; Yb – 3,77; Lu – 0,39, что указывает на высокую степень дифференциации концентраций легких и тяжелых РЗЭ. Нормированные к хондриту [10] содержания

№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	nnn	Сумма
1	47,67	1,80	13,27	7,71	7,77	0,18	5,72	12,31	1,38	0,16	0,19	2,14	100,30
2	49,86	1,68	13,82	4,81	8,20	0,12	6,22	9,20	2,76	0,24	0,13	2,44	99,48
3	50,67	1,80	11,98	5,32	9,24	0,10	5,63	9,86	3,12	0,25	0,11	1,50	99,58
4	51,44	0,99	17,42	4,88	6,46	0,14	4,54	7,52	3,84	1,12	0,22	2,47	101,04
5	48,38	1,50	12,40	5,88	8,73	0,21	7,67	11,32	0,84	0,09	0,09	2,40	99,51
6	48,00	2,06	13,67	6,89	7,22	0,23	4,78	12,05	2,40	0,16	0,17	2,80	100,43
7	46,76	1,08	16,77	3,11	5,46	0,14	9,15	9,72	2,91	0,54	0,09	3,92	99,65
8	48,10	1,60	14,24	4,37	6,92	0,16	6,86	10,42	3,00	0,12	0,15	3,16	99,10
9	48,86	2,06	13,67	5,11	8,05	0,17	5,38	10,91	2,60	0,18	0,16	2,06	99,21
10	48,30	1,72	13,13	5,51	7,66	0,34	6,29	10,15	3,65	0,14	0,13	2,56	99,58
11	44,84	1,85	14,86	5,19	6,23	0,14	8,27	11,20	2,81	0,29	0,195	3,64	99,52

Таблица 2 – Химический состав базальтов и их туфов листа N-41-II

Примечание – анализы принадлежат геолого-съемочной партии ОАО «Челябинскгеосъемка»



Рис. 5. Диаграммы SiO<sub>2</sub> – (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) (A), SiO<sub>2</sub> – (FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/MgO (Б), aľ – TiO<sub>2</sub> (B) и TiO<sub>2</sub> – (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) (Г) для метабазальтов самарской толщи Примечание – поля составов базальтов по [9] для диаграмм В и Г: I – эпиплатформенных континентальных рифтов, II – срединно-океанических хребтов, III – эпиорогенных континентальных рифтов, IV – островных дуг

 редкоземельных элементов подтверждают этот вывод:  $La_N = 84.1$ ,  $Ce_N = 52.5$ ,  $Sm_N = 29.2$ ,  $Eu_N = 29.5$ ,  $Yb_N = 17.1$ ,  $Lu_N = 11.5$ . Толеитовые базальты с подобными петрогеохимическими характеристиками, согласно классической работе «Геодинамические реконструкции» [11], формируются в обстановках континентальных рифтовых зон и рифтовых структур, а также океанических островов.

Таким образом, учитывая приведенный выше аналитический материал по физикохимическим и геодинамическим условиям образования и преобразования пород самарской толщи, можно предположить, что они сформировались в раннерифейское время в обстановке эпиплатформенного континентального рифтогенеза. В дальнейшем отложения испытали региональный метаморфизм в условиях зеленосланцевой фации, а в южной части – локальный зональный контактовый метаморфизм (эпидот-амфиболитовая фация) при температуре 450–470°С и давлении 2.0–2.7 кбар, что соответствует глубине 7–9 км (абиссальная зона) [12]. Последний этап связан со становлением в позднерифейсковендское время близрасположенного крупного Варламовского гранитно-мигматитового купола.

## ЛИТЕРАТУРА

- Борнеман-Старынкевич И.Д. Руководство по расчету формул минералов. М.: Наука, 1964. 224 с.
- Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. М.: Недра, 1976. 287 с.
- Термо- и барометрия метаморфических пород / под редакцией В.А. Глебовицкого. Л.: Наука, 1977. 207 с.
- Сначев В.И., Демин Ю.И., Романовская М.А., Щулькин В.Е. Тепловой режим становления гранитоидных массивов. Институт геологии БНЦ УрО РАН. Уфа, 1989. 120 с.
- 5. Сначев А.В., Рыкус М.В., Сначев В.И. Благородные металлы в углеродистых отложениях южной части Арамильско-Сухтелинской зоны // Геологический сборник. Институт геологии УНЦ РАН. Уфа, 2003. № 3. С. 180–185.
- Сначев В.И., Пучков В.Н., Савельев Д.Е., Мосейчук В.М., Сначев А.В., Шиянова А.А., Рыкус М.В. Рудоносность углеродистых отложений северной половины Маярдакского и Ямантауского антиклинориев // Геологический сборник. Институт геологии УНЦ РАН. Уфа, 2007. № 6. С. 227–232.
- Рыкус М.В., Сначев В.И., Кузнецов Н.С., Савельев Д.Е., Бажин Е.А., Сначев А.В. Рудоносность дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формаций пограничной зоны между Южным и Средним Уралом // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7. № 2. С. 17–27.
- 8. Федькин В.В. Ставролит. М.: Наука, 1975. 250 с.
- Сначев В.И. Петрогеохимические особенности и палеогеодинамические условия формирования базальтов Зауральского поднятия (Южный

Урал) // Вестник АН РБ. 2018. № 1. С. 48-56.

- 10. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
- 11. Геодинамические реконструкции / под редакцией В.А. Унксова. Л.: Недра, 1989. 278 с.
- Демин Ю.И., Сначев В.И. Тепловые поля Ахуновского гранитного массива и закономерности размещения в них оруденения // Доклады Академии наук СССР. 1981. Т. 261. № 1. С. 152–156.

### REFERENCES

- 1. Borneman-Starynkevich I.D. Rukovodstvo po raschetu formul mineralov [Mineral formula calculation guide]. Moscow, Nauka, 1964. 224 p. (In Russian).
- 2. Perchuk L.L., Ryabchikov I.D. Fazovoe sootvetstvie v mineralnykh sistemakh [Phase matching in mineral systems]. Moscow, Nedra, 1976. 287 p. (In Russian).
- Termo- i barometriya metamorficheskikh porod [Thermo- and barometry of metamorphic rocks].
  V.A. Glebovitsky (ed.). Leningrad, Nauka, 1977. 207 p. (In Russian).
- 4. Snachev V.I., Demin Yu.I., Romanovskaya M.A., Shchulkin V.E. Teplovoy rezhim stanovleniya granitoidnykh massivov [Thermal regime of the formation of granitoid massifs]. IG BNTs UrO RAN, Ufa, 1989. 120 p. (In Russian).
- Snachev A.V., Rykus M.V., Snachev V.I. Blagorodnye metally v uglerodistykh otlozheniyakh yuzhnoy chasti Aramilsko-Sukhtelinskoy zony [Noble metals in carbonaceous deposits of the southern part of the Aramil-Sukhtelya zone]. Geologicheskiy sbornik – Geological Collection, IG UNTs RAN, Ufa, 2003, no. 3, pp. 180–185. (In Russian).
- 6. Snachev V.I., Puchkov V.N., Savelyev D.E., Mo-

..... ВЕСТНИК АКАДЕМИИ НАУК РБ

seychuk V.M., Snachev A.V., Shiyanova A.A., Rykus M.V. Rudonosnost uglerodistykh otlozheniy severnoy poloviny Mayardakskogo i Yamantauskogo antiklinoriyev [Ore content of carbonaceous deposits in the northern half of the Mayardak and Yamantau anticlinoria]. Geologicheskiy sbornik – Geological Collection, IG UNTs RAN, Ufa, 2007, no. 6, pp. 227–232. (In Russian).

- Rykus M.V., Snachev V.I., Kuznetsov N.S., Savelyev D.E., Bazhin E.A., Snachev A.V. Rudonosnost dunit-gartsburgitovoy i chernoslantsevoy formatsiy pogranichnoy zony mezhdu Yuzhnym i Srednim Uralom [Ore mineralization of the dunite-harzburgite and black shale formations of the border zone between the Southern and Middle Urals]. Neftegazovoye delo – Oil and Gas Business, 2009, vol. 7, no. 2, pp. 17–27. (In Russian).
- 8. Fedkin V.V. Stavrolit [Staurolite]. Moscow, Nauka, 1975. 250 p. (In Russian).
- 9. Snachev V.I. Petrogeokhimicheskie osobennosti

i paleogeodinamicheskie usloviya formirovaniya bazaltov Zauralskogo podnyatiya (Yuzhnyy Ural) [Petrogeochemical peculiarities and paleogeodynamic conditions for the basalt genesis in the Trans-Ural uplift (South Urals)]. Vestnik AN RB – Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2018, no. 1, pp. 48–56. (In Russian).

- Balashov Yu.A. Geokhimiya redkozemelnykh elementov [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka, 1976. 267 p. (In Russian).
- Geodinamicheskie rekonstruktsii [Geodynamic reconstructions]. V.A. Unksov (ed.). Leningrad, Nedra, 1989. 278 p. (In Russian).
- Demin Yu.I., Snachev V.I. Teplovyye polya Akhunovskogo granitnogo massiva i zakonomernosti razmeshcheniya v nikh orudeneniya [Thermal fields of the Akhunovo granite massif and their mineralization patterns]. Doklady Akademii nauk SSSR – Proceedings of the USSR Academy of Sciences, 1981, vol. 261, no. 1, pp. 152–156. (In Russian).

#### УДК 553.98

DOI: 10.24411/1728-5283-2020-10104

# АНАЛИЗ СВЯЗНОСТИ КОЛЛЕКТОРА В УСЛОВИЯХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

#### © С.И. Коновалова,

кандидат физикоматематических наук, главный специалист, РН-БашНИПИнефть, Ленина, 86/1, 450103, Уфа, Российская Федерация, e-mail: KonovalovaSI@bnipi.rosneft.ru

#### © Р.В. Байгузин,

специалист, РН-БашНИПИнефть, Ленина, 86/1, 450103, Уфа, Российская Федерация, e-mail: BaiguzinRV@bnipi.rosneft.ru

#### © Ю.Б. Линд,

30

ученый секретарь, РН-БашНИПИнефть, Ленина, 86/1, 450103, Уфа, Российская Федерация, e-mail: LindUB@bnipi.rosneft.ru Детальное трехмерное геолого-гидродинамическое моделирование залежей углеводородов необходимо для комплексного учета геолого-геофизической и промысловой информации при проектировании разработки месторождений. Важной задачей при этом является снижение влияния неопределенности исходных данных и параметров геологического моделирования на принятие проектных решений.

В работе анализируется влияние параметров многовариантного стохастического геологического моделирования и изменчивости исходных данных на гидродинамическую связность коллекторов. Для оценки неопределенностей в распределении коллекторов и влияния параметров геологического моделирования предлагается использовать коэффициент литологической связности, представляющий собой отношение порового объема наибольшего перколяционного кластера к общему поровому объему ячеек в модели. Предложенный алгоритм исследования связности коллектора без построения гидродинамической модели может быть применен для оценки неоднородности распределения фильтрационно-емкостных свойств коллектора в межскважинном пространстве и прогноза показателей разработки в неразбуренных районах залежей.

Для учета вертикальной неоднородности коллекторов

..... ВЕСТНИК АКАДЕМИИ НАУК РБ